

Antosianin Ekstrak Ubi Jalar Ungu Kering untuk Donor Elektron Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)

Extract Anthocyanin of Dried Purple Sweet Potato as Electron Donors in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Sukardi*, Syafiq Maulidinda Kiswaya, Dodyk Pranowo

Department of Agro-industrial Technology, Faculty of Agricultural Technology, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145, Indonesia

*sukardi@ub.ac.id

Received: 18th October, 2018; 1st Revision: 13th December, 2018; 2nd Revision: 17th December, 2018; Accepted: 17th December, 2018

Abstrak

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L., Poir) memiliki kandungan antosianin tinggi, bersifat alami sehingga menjadikan antosianin aman digunakan dan dapat diperbarui. Antosianin dapat digunakan sebagai *dye* dalam rangkaian sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT). Antosianin diperoleh dari sel tanaman dengan maserasi dan pelarut etanol yang diasamkan dengan asam asetat. Tujuan penelitian untuk mengetahui tingkat keasaman pelarut dalam menghasilkan antosianin tertinggi, panjang gelombang serapan dan kemampuan *dye* sebagai donor elektron pada SSPT. Penelitian rancangan acak lengkap satu faktor dengan empat level keasaman (pH 4,00; 4,25; 4,50 dan 4,75), diulang 2 kali digunakan dalam penelitian ini. Pembuatan SSPT dengan cara perakitan elektroda kerja, elektroda lawan, elektrolit, dan *dye* antosianin. SSPT diuji di bawah sinar matahari selama 60 menit setiap hari untuk mengetahui kemampuan dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik. Nilai absorbansi tertinggi sebesar $0,0485 \pm 0,20$ dan kandungan antosianin terbaik sebesar $224,97 \pm 0,02$ mg/100 g diperoleh pada perlakuan pH 4,00 dan panjang gelombang antosianin 520-700 nm. *Dye* antosianin sebagai donor elektron SSPT mampu menghasilkan tegangan listrik selama 15 hari dan arus listrik selama 10 hari. Tegangan listrik dan arus listrik tertinggi sebesar 0,25 volt dan 0,12 ampere.

Kata kunci: antosianin, maserasi, sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT), ubi jalar ungu

Abstract

Purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Poir) is a variety which has high anthocyanin. One of the benefits of anthocyanin extract obtained will be made as an electron donor dye in a series of dye-sensitized solar cells (DSSC). Anthocyanins can be extracted by a maceration method which utilizes acidified solvent of ethanol using acetic acid. The purpose of this research is to find out the acidity of the solvent extraction the highest anthocyanin, the wavelength of anthocyanin uptake and the ability of an anthocyanin dye as an electron donor. The research was designed by a completely randomized design one factor with four levels namely acidity (pH 4.00; 4.25; 4.50 and 4.75) and twice repeated. Then it is made to make DSSC by assembling working electrodes, opposing electrodes, electrolytes, and anthocyanin dye. DSSC is tested under sunlight for 60 minutes per days to determine the ability to produce voltage and electric current. The best anthocyanin content was obtained at 224.97 ± 0.02 mg /100 g and absorbancy value 0.0485 ± 0.20 in solvents with a pH of 4.00. The wavelength of anthocyanins ranged from 520-700 nm. Dye anthocyanin as an electron donor in DSSC can produce electricity for 15 days and electric current for ten days, the highest electricity voltage and electric current is 0.25 volts and 0.12 amperes respectively.

Keywords: anthocyanin, dye-sensitized solar cells, maceration, purple sweet potato

PENDAHULUAN

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L., Poir) adalah jenis ubi jalar yang banyak ditanam oleh petani di Indonesia. Varietas ubi jalar ungu yang banyak ditanam petani di daerah Malang

khususnya adalah Ayamurasaki dan dalam program pemuliaan, digunakan sebagai pem-banding. Kadar antosianin rerata dari hasil pe-nelitian adalah 282 mg/100 g, dan produktifitas sebesar 15-20 ton/ha. Rekayasa dan teknologi proses serta pemanfaatan ubi jalar ungu perlu

disebarluaskan, sehingga akan berdampak positif terhadap nilai sosial dan ekonomis serta menarik untuk dikembangkan (Ginting *et al.*, 2011).

Antosianin terkandung di dalam tanaman yang memiliki warna ungu, biru atau merah. Sifatnya yang alami menjadikan antosianin lebih aman digunakan dan dapat diperbarui. Warna ubi jalar ungu merata di kulit dan daging. Antosianin sebagai senyawa metabolit sekunder yang memiliki banyak manfaat dan terdapat di banyak jenis tumbuh-tumbuhan. Antosianin merupakan senyawa fenolik dan memiliki aktivitas antioksidan yang berfungsi menangkal radikal bebas (Kumalaningsih, 2007).

Ekstraksi antosianin dari tanaman sudah banyak dilakukan dengan teknik maserasi. Suzery *et al.* (2010) telah melakukan ekstraksi teknik maserasi pada suhu 25°C, dan diperoleh hasil antosianin yang lebih tinggi dibanding suhu 5°C dari bunga rosella. Selanjutnya dikatakan rendemen teknik maserasi pada suhu ruang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode Soxhlet.

Ekstraksi terjadi akibat fase cairan pelarut menembus membran sel sehingga terjadi pembengkakan pada sel dan difusi komponen sel ke cairan pelarut dan pelarut yang digunakan merupakan ethanol yang diasamkan (Voigt, 1995). Robinson (1995) menyatakan, ekstraksi flavonoid lebih baik dilakukan pada kondisi asam, karena hal ini dapat berakibat terjadinya denaturasi membran sel tanaman, meningkatkan kelarutan pigmen antosianin serta mencegah oksidasi flavonoid. Asam organik yang sering digunakan untuk ekstraksi pigmen adalah asam sitrat, asam asetat dan asam klorida. Perbedaan suasana asam akan menghasilkan antosianin yang berbeda, begitu pula kemampuan pelarut dalam mencegah oksidasi flavonoid.

Sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT) merupakan perangkat alat yang dapat merubah energi surya menjadi energi potensial listrik dengan meniru proses fotosintesis yang pertama kali ditemukan oleh O'Regan & Grätzel (1991). Sel surya pewarna tersensitisasi menggunakan *dye* sebagai sensitizer untuk menyerap energi foton, dan proses disebut mensensitisasi. Berdasarkan penelitian, efisiensi tertinggi yang dicapai oleh sel surya pewarna tersensitisasi sekitar 11% (Grätzel, 2005). Antosianin dapat dimanfaatkan sebagai *dye* dalam SSPT sebagai donor elektron.

SSPT tersusun atas beberapa bagian yang memiliki pengaruh sangat besar terhadap kinerja dari sel surya, diantaranya elektroda kerja,

elektrolit, elektroda lawan dan pewarna (*dye*). Saat ini, sel surya dibuat dengan menggunakan unsur logam inti dari sintesa *dye* yang mahal dan sulit diproduksi yaitu *ruthenium complex*. Namun sekarang mulai dilakukan banyak percobaan untuk menggantikan sintesa *dye* tersebut dengan menggunakan *dye* alami yang berasal dari sel tanaman (pewarna). Pewarna tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai *dye* yaitu pigmen antosianin (Bridgers, Chinn, & Truong, 2010).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian bertujuan untuk mengetahui tingkat keasaman pelarut yang tepat sehingga dihasilkan antosianin tertinggi, panjang gelombang serapan dan kemampuan *dye* sebagai donor elektron pada Sel Surya Pewarna Tersintetasi (SSPT).

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan meliputi timbangan digital (Sartorius), *beaker glass 100 ml* (HERMA Boro 3.3), gelas ukur 100 ml (HERMA ISO Class A), labu ukur (HERMA ISO Class A), aluminium *foil*, kertas saring (Whatman 45), *rotary vacuum evaporator* (IKA RV 10 Digital), pipet tetes (HERMA ISO Class A), kaca ITO (EVK-China), kaca TCO (M-H-05-19-China), penjepit dan kabel. Alat untuk analisis antara lain: multimeter (DT-9205-A China), spektrofotometri UV-Vis (METTLER TOLEDO UV5), dan gelas ukur (HERMA ISO Class A).

Bahan

Bahan penelitian berupa ubi jalar ungu varietas Ayamurasaki dari Balitkabi Kendalpayak Malang (umur panen 4 bulan), Ethanol 96% (teknis), Asam asetat (99% PA), TiO₂ (PA), KI (PA), KCl (PA), HCl (98% PA), Aquades, CH₃COONa.3H₂O (teknis), Iodium (PA) dan batang karbon.

Metode

Penelitian dibagi 2 tahap yaitu: 1). Ekstraksi antosianin dan 2). Pembuatan sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT). Maserasi menggunakan pelarut etanol yang diasamkan. Rancangan acak lengkap satu faktor yaitu: pelarut dengan tingkat keasaman empat level (pH 4,00; pH 4,25; pH 4,50 dan pH 4,75), digunakan dalam penelitian ini dan diulang 2 kali. Tahap pembuatan SSPT dengan cara perakitan elek-

troda kerja, elektroda lawan, elektrolit dan *dye* antosianin.

Ekstraksi Antosianin

Tahap awal adalah mencuci ubi jalar sehingga bersih kemudian dikukus selama 5±1 menit dan didinginkan. Selanjutnya dilakukan pengirisan ketebalan 3,0–5,0 mm dan dikeringkan pada sinar matahari hingga kadar air 15±1%. Ubi jalar ungu kering dihaluskan dan diayak 60 mesh. Selanjutnya membuat pelarut dari etanol 96% yang diasamkan dengan asam asetat 99% hingga didapatkan tingkat keasaman (pH = 4,00; 4,25; 4,50 dan 4,75). Tepung ubi jalar ungu ditimbang 20 gram, ditambah pelarut 100 ml, dimaserasi dengan pelarut selama 72 jam dan dilakukan pengadukan setiap 24 jam. Larutan disaring dan filtrat dievaporasi pada suhu 80±1 °C hingga larutan mengental dan didapatkan ekstrak.

Analisis Absorbansi Ekstrak

Analisis panjang gelombang didapat dari pengujian menggunakan *instrument Spektrofotometri UV-Vis* pada rentang 520 nm sampai 700 nm. Perhitungan absorbansi sampel (A) dilakukan menggunakan rumus analisis panjang gelombang. Perhitungan absorbansi ekstrak ubi jalar ungu dilakukan dengan rumus (Maulida & Guntarti, 2015):

$$A = (A_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH 1,0}} - (A_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH 4,5}}$$

Analisis Kandungan Antosianin

Analisis kandungan antosianin ekstrak ubi jalar ungu dilakukan untuk mengetahui konsentrasi antosianin. Analisis kandungan antosianin sebagai berikut (Maulida & Guntarti, 2015):

$$K = \frac{A \times MW \times DF \times V \times 100}{\epsilon \times l \times W} \text{ (mg/100g)}$$

dengan:

K = konsentrasi antosianin

A = absorbansi sampel

MW = berat molekul dihitung sebagai sianidin-3-glukosida (MW = 449,2)

DF = faktor kelarutan

V = volume larutan induk sampel

W = berat ekstrak sampel

ϵ = (adsorptivitas molar sianidin-3-glukosida)

26.900 dan 100 (faktor konversi perhitungan dalam mg/100 gram sampel).

Pengujian Kemampuan SSPT dalam Menghasilkan Listrik

Pengujian SSPT dengan mengamati kemampuan semua sampel (2 kali ulangan) dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik. Pengamatan dilakukan selama 60 menit antara pukul 12.00-14.00 WIB, dengan sinar matahari penuh. Pengujian selama 4 hari, pencatatan dilakukan setiap 5 menit selama 60 menit penyinaran. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian aplikasi hingga SSPT tidak mampu menghasilkan listrik. Pengujian dilakukan pada menit ke-0 dan menit ke-60 setiap hari dan dicatat hasilnya. Prosedur pembuatan dan pengujian SSPT sesuai dengan metode (Kurniawan, Sugianto, & Salomo, 2016) sebagai berikut:

1. Serbuk *Titanium Dioksida* (TiO₂) dilarutkan dengan larutan asam asetat dengan perbandingan 1:1.
2. Serbuk *Potassium Iodide* (KI) dilarutkan dengan larutan Iodium dengan perbandingan 1:3 sebagai elektrolit.
3. Batang karbon dihaluskan menjadi serbuk (80 mesh).
4. Ekstrak antosianin ditakar 5 mL sebagai *dye*.
5. Kaca ITO dilapisi dengan campuran larutan TiO₂ sebagai kaca anoda.
6. Kaca anoda direndam pada larutan *dye* selama 10 menit.
7. Kaca TCO dilapisi dengan serbuk karbon sebagai kaca katoda.
8. Larutan elektrolit diteteskan pada karbon kaca katoda.
9. Kaca anoda dan katoda disusun sebagai sel surya pewarna tersensitisasi.
10. Dilakukan uji tegangan dan arus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Absorbansi Ekstrak

Pada Tabel 1 diketahui rerata absorbansi sampel dari tiap perlakuan. Perlakuan dengan pelarut pH 4,00; 4,25; 4,50 dan 4,75 memiliki rerata nilai absorbansi berturut-turut sebesar 0,0485±0,20; 0,0445±0,12; 0,0400±0,15 dan 0,0365±0,15.

Faktor yang memengaruhi absorbansi dari ekstrak ubi jalar ungu terhadap konsentrasi kadar antosianin adalah konsentrasi pelarut yang digunakan pada proses maserasi (Hambali, Mayasari, & Noermansyah, 2014). Senyawa antosianin mempunyai stabilitas rendah akibat panas atau tingkat keasaman. Pada pemanasan yang tinggi, kestabilan dan ketahanan warna

berubah dan bahkan rusak. Dalam suasana asam antosianin berwarna merah dan suasana basa berwarna biru, namun lebih stabil dalam suasana asam dibandingkan alkalis ataupun netral (Francis, 1982).

Tabel 1. Nilai absorbansi dan kadar antosianin ekstrak ubi jalar pada keasaman berbeda

Keasaman Pelarut	Rerata Nilai Absorbansi (A)	Rerata Kadar Antosianin (mg/100 g)
Tingkat keasaman 4,00	0,0485±0,20	224,97±0,02
Tingkat keasaman 4,25	0,0445±0,12	206,42±0,01
Tingkat keasaman 4,50	0,0400±0,15	185,54±0,01
Tingkat keasaman 4,75	0,0365±0,15	169,31±0,01

Antosianin memiliki nilai absorbansi pada kisaran dari 500 nm sampai 700 nm dan sebagai pewarna alami, antosianin telah digunakan sebagai fotosensitizer yang baik untuk TiO₂ sel surya karena ketersediaannya serta kinerjanya (Prima *et al.*, 2017). Selanjutnya dikatakan bahwa pewarna antosianin memiliki HOMO-5,536 eV dan LUMO-2,886 eV memenuhi kriteria dari kedua transfer muatan efektif dari LUMO *dye* ke dalam pita konduksi TiO₂ dan pewarnaan pewarna yang baik oleh redoks elektrolit.

Penurunan nilai absorbansi berbanding lurus dengan peningkatan pH. Meningkatnya pH mendekati netral atau basa mengakibatkan penurunan absorbansi yang ditandai dengan perubahan bentuk kation flavilium menjadi basa karbinol, deprotonisasi, kerusakan pigmen dan dekolerasi warna. Efisiensi konversi keseluruhan sebanding dengan fotosintesis alami (2%) telah tercapai dengan menggunakan pewarna yang dipilih. Jadi, pencarian pigmen alami yang efisien sebagai perangkat energi surya yang ekonomis untuk masyarakat sangat diperlukan (Calogero *et al.*, 2009).

Kandungan Antosianin

Hasil perhitungan kandungan antosianin ubi jalar ungu berada pada kisaran 169,31 mg/100 g sampai 224,97 mg/100 g (Tabel 2). Tabel 2 menunjukkan bahwa rerata kandungan antosianin tertinggi dihasilkan pelarut dengan keasaman pH 4,00 sebesar 224,97±0,02 mg/100 g, terkecil dihasilkan pelarut dengan pH 4,75 sebesar 169,31±0,01 mg/100 g. Dari 4 jenis perlakuan tingkat keasaman pelarut yang

diberikan, terjadi perbedaan kandungan antosianin. Perlakuan pelarut dengan tingkat keasaman pH 4,00 dan pH 4,25 menunjukkan adanya beda nyata antar perlakuan, sedangkan perlakuan pelarut dengan tingkat keasaman pH 4,50 dan pH 4,75 tidak menunjukkan perbedaan. Dapat diketahui bahwa dalam 100 gr ubi jalar ungu kering mengandung 169,31±0,01 mg sampai 224,97±0,02 mg antosianin.

Ekstraksi bertujuan untuk mendapatkan komponen kimia dalam bahan (Hambali *et al.*, 2014). Ekstraksi merupakan proses perpindahan massa komponen zat terlarut ke dalam zat pelarut dan fenomena transfer massa terjadi pada daerah lapisan tipis antar permukaan, selanjutnya zat terlarut berdifusi masuk ke dalam zat pelarut. Ekstraksi komponen bioaktif dari dalam sel tanaman terjadi akibat pelarut menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat bioaktif. Zat bioaktif larut dalam pelarut yang berada di luar sel, sehingga larutan menjadi pekat, dan proses ini akan berulang terus sampai terjadi kesetimbangan antara konsentrasi cairan zat aktif di dalam dan di luar sel (*steady state*). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju ekstraksi antara lain: tipe atau jenis sampel, waktu ekstraksi, jumlah pelarut, suhu pelarut dan tipe atau jenis pelarut. Menurut Agustin & Ismiyati (2015), antosianin dapat diperoleh dari bahan baku dengan menggunakan pelarut etanol.

Tabel 2. Rerata kandungan antosianin

Keasaman Pelarut	Rerata Antosianin (mg/100g)	BNT (5%)	Notasi
pH 4,00	224,97±0,02		c
pH 4,25	206,42±0,01	17,64	b
pH 4,50	185,54±0,01		a
pH 4,75	169,31±0,01		a

Keterangan: notasi beda pada kolom sama menunjukkan ada beda nyata $\alpha=5\%$

Farida & Nisa (2015) menjelaskan bahwa semakin rendah nilai pH, kenaikan serapan absorbansi akan naik dan warna ekstrak semakin merah dan stabil. Hal ini disebabkan banyaknya kation flavium dari pigmen antosianin pada kondisi asam dan pigmen antosianin kekurangan elektron sehingga bersifat reaktif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada pH antara 1 dan 3, bentuk kation flavilium mendominasi dalam pigmen antosianin dan warna merah merupakan bentuk yang paling stabil. Apabila pH naik ke nilai 4,00 sampai 5,00, kehilangan proton lebih cepat terjadi (deprotonisasi) dan

kation flavium mengalami hidrasi sehingga pigmen mengalami kerusakan dan tidak stabil. Semakin tinggi pH, maka semakin tidak stabil antosianin atau semakin tinggi kerusakan pigmennya. Ubi jalar ungu sebagai bahan baku dalam penelitian ini, sehingga warna dominan adalah ungu kemerahan dan yang sangat diperlukan dalam SSPT adalah anion sebagai donor elektron. Nilai pH memengaruhi stabilitas warna yang ditunjukkan oleh nilai absorbansi (Winarti & Firdaus, 2010). Perubahan warna akibat perubahan pH terjadi karena berwarna merah dari kation flavium berubah dari hidrat menjadi basa karbinol atau *pseudobase* yang merupakan bentuk awal kalkon (berwarna) dan akhirnya menjadi kalkon yang tidak berwarna.

Pengujian Kemampuan SSPT dalam Menghasilkan Listrik

Tegangan listrik yang dihasilkan selama 4 hari pengamatan seperti disajikan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji tegangan listrik selama 4 hari

Waktu (menit)	Nilai Tegangan (volt) hari ke-			
	1	2	3	4
0	0,02	0,0	0,15	0,16
5	0,08	0,04	0,18	0,16
10	0,04	0,04	0,19	0,17
15	0,03	0,05	0,19	0,17
20	0,07	0,05	0,20	0,18
25	0,08	0,05	0,20	0,20
30	0,07	0,06	0,21	0,21
35	0,07	0,06	0,21	0,21
40	0,08	0,07	0,22	0,21
45	0,08	0,07	0,22	0,23
50	0,07	0,08	0,22	0,24
55	0,07	0,09	0,23	0,24
60	0,07	0,09	0,24	0,25

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa tegangan listrik tertinggi dihasilkan pada hari ke-4 menit ke-60 yaitu sebesar 0,25 volt. Pengujian dilanjutkan untuk mengetahui kemampuan SSPT dalam menghasilkan listrik. Pengujian dilakukan hingga SSPT tidak mampu menghasilkan tegangan listrik. Spektrum serapan larutan pewarna campuran antosianin dan film TiO₂ dapat meningkat setelah adsorpsi pewarna. Karakterisasi absorbansi larutan campuran pewarna antosianin dan klorofil menunjukkan tiga pun-

cak pada panjang gelombang berturut-turut senilai 412,00 nm; 535,50 nm; dan 656,50 nm. Karakterisasi absorbansi dari klorofil sebelum dicampur dengan larutan pewarna antosianin menunjukkan dua puncak di panjang gelombang 431 nm dan 665,5 nm. Spektrum serapan film TiO₂ dapat meningkat setelah adsorpsi zat warna pada panjang gelombang 400 nm. Campuran adsorpsi pewarna antosianin dan klorofil pada permukaan TiO₂ dapat digunakan sebagai fotosensitizer untuk DSSC (Ahliha *et al.*, 2017).

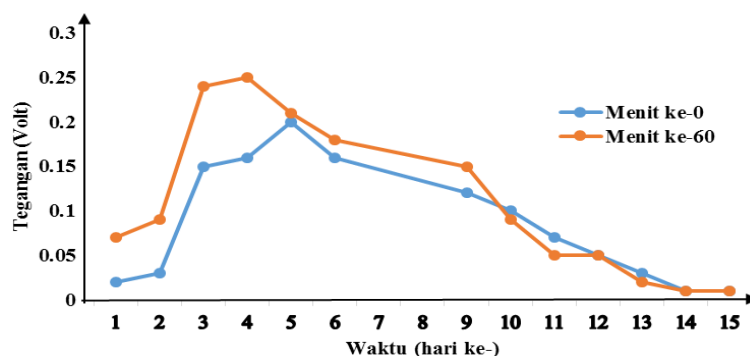
Subodro *et al.* (2017) telah meneliti pengaruh waktu perendaman lapisan TiO₂ pada larutan antosianin yang berasal dari kulit buah manggis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa waktu perendaman 2s4 jam memiliki efisiensi penyerapan donor elektron lebih tinggi dibanding 12 jam dan 48 jam. Penggunaan zat warna alami sebagai donor elektron memang lebih rendah daya konversi elektronnya dibanding bahan kimia buatan. Namun demikian bahan alami seperti antosianin, harga relatif murah, ramah lingkungan, tidak beracun dan mudah tersedia serta terbarukan (Shalini *et al.*, 2016). Pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa SSPT memiliki kemampuan dalam menghasilkan listrik hingga 15 hari.

Tegangan listrik tertinggi dihasilkan pada pengamatan hari ke-4 menit ke-60 yaitu sebesar 0,25 volt. Tegangan listrik terkecil dihasilkan pada hari ke-14 dan hari ke-15 yaitu sebesar 0,01 volt. Peningkatan dan penurunan tegangan listrik yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kemampuan komponen SSPT dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. *Trend* tegangan listrik yang diperoleh SSPT penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada penelitian penggunaan asam carminat memiliki sifat fotoelektrik lebih besar, yang diinterpretasikan oleh sejumlah besar pewarna yang diadsorpsi pada fotoanode TiO₂. Masa hidup tereksitasi normal, dan pada saat yang sama, parameter reaktivitas kimia menggambarkan reaktifitas yang lebih rendah dan lebih tinggi daya penerimaan elektron dari asam carminat namun memiliki pengaruh pada hubungan arus yang singkat. Oleh karena itu, asam carminat menunjukkan efisiensi konversi fotolistrik yang

Tabel 4. Hasil uji SSPT dalam menghasilkan tegangan listrik

Waktu (menit)	Pengamatan (hari ke-)													
	1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	
0	0,02	0,03	0,15	0,16	0,20	0,16	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,01	0,01	
60	0,07	0,09	0,24	0,25	0,21	0,18	0,15	0,09	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	



Gambar 1. Tegangan Listrik yang Dihasilkan SSPT Selama 15 hari

sangat baik (Sun *et al.*, 2016). Penggunaan asam sitrat dimungkinkan kurang tepat pada saat ekstraksi antosianin

Setelah pengamatan hari ke-5, SSPT menghasilkan tegangan listrik yang memiliki kecenderungan menurun. SSPT mampu menghasilkan tegangan yang terus mengalami peningkatan mulai hari ke-1 sampai hari ke-4 dan menghasilkan tegangan listrik tertinggi yaitu sebesar 0,25 volt. Kemudian terjadi penurunan terus menerus hingga tegangan listrik yang dihasilkan 0,01 volt pada hari ke-14 dan hari ke-15. Dapat dilihat bahwa penurunan terjadi mulai pengamatan hari ke-5 sampai hari ke-15. Namun demikian penurunan tegangan SSPT yang dihasilkan dari penelitian ini tidak secara drastis. Penurunan yang terjadi lebih lambat dibandingkan dengan peningkatan tegangan yang dihasilkan oleh SSPT, selama 4 hari pertama (hari ke-1 sampai hari ke-4). Namun penurunan tegangan yang dihasilkan oleh SSPT terjadi selama 9 hari. Apabila dilihat berdasarkan pengamatan perhari, pengamatan hari ke-1 sampai hari ke-4 terjadi peningkatan tegangan mulai menit ke-0 sampai menit ke-60. Tegangan listrik mengalami penurunan mulai hari ke-5 sampai hari ke-15 pada pengamatan menit ke-0 sampai menit ke-60.

SSPT menghasilkan tegangan yang terus meningkat hingga hari ke-4, namun SSPT mengalami penurunan tegangan yang dihasilkan. Menurut Li *et al.* (2006) peningkatan tegangan listrik diperoleh karena komponen-komponen dalam SSPT masih dapat bekerja dengan baik. TiO_2 pada kaca anoda, *dye*, elektrolit dan kaca katoda berjalan sesuai fungsinya seperti pada metode SSPT. SSPT mampu menghasilkan tegangan listrik dengan baik apabila komponen-komponen dapat bekerja dengan baik pula. Sehingga pada saat terjadi penurunan tegangan yang dihasilkan oleh SSPT, dapat disebabkan oleh kualitas dari komponen yang terus menurun. *Dye* memiliki kelemahan mudah

teroksidasi dan menurun kualitasnya apabila terkena cahaya, sehingga dengan menurunnya kemampuan *dye* yang berfungsi sebagai penangkap foton dari sinar matahari, maka kemampuan SSPT dalam menghasilkan tegangan listrik juga semakin menurun. Menurunnya kualitas komponen yang lain juga dapat mempengaruhi kemampuan SSPT dalam menghasilkan tegangan listrik. Energi yang tersedia per elektron merupakan tegangan atau potensial listrik.

Hasil pengamatan arus listrik yang dihasilkan selama 4 hari pengujian berada pada kisaran 0 sampai 0,12 ampere. Tabel 5 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan arus listrik yang dihasilkan setiap harinya. Arus listrik tertinggi dihasilkan pada hari ke-3 menit ke-0 dengan nilai sebesar 0,12 ampere. Arus listrik terkecil dihasilkan pada hari ke-1 menit ke-10 dengan nilai 0 ampere. Pada hari ke-2 terjadi stagnansi arus yaitu sebesar 0,02 ampere. Arus listrik yang dihasilkan oleh SSPT tidak stabil, hal ini dapat disebabkan oleh intensitas cahaya yang dapat diserap oleh *dye* (Wijaya, 2001).

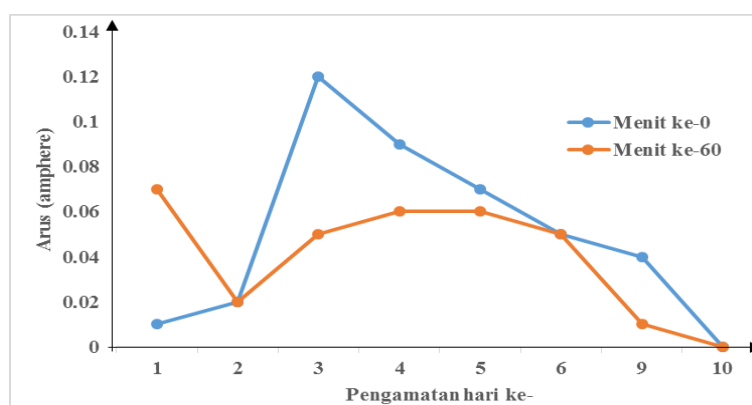
Pengujian dilanjutkan untuk mengetahui kemampuan SSPT dalam menghasilkan listrik. Pengujian dilakukan hingga SSPT tidak mampu menghasilkan arus listrik, dan hasil pengujian seperti disajikan Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan bahwa SSPT memiliki kemampuan dalam menghasilkan arus listrik hingga 9 hari. Tegangan listrik tertinggi dihasilkan pada pengamatan hari ke-3 menit ke-0 yaitu sebesar 0,12 ampere. Arus listrik terkecil dihasilkan pada hari ke-9 menit ke-60 yaitu 0,01 ampere. Peningkatan dan penurunan arus listrik yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kemampuan komponen SSPT dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. *Trend* arus listrik SSPT yang dihasilkan penelitian ini disajikan Gambar 2.

Tabel 5. Hasil uji arus listrik selama 4 hari

Waktu (menit)	Hari ke-1 (ampere)	Hari ke-2 (ampere)	Hari ke-3 (ampere)	Hari ke-4 (ampere)
0	0,01	0,02	0,12	0,09
5	0,01	0,02	0,11	0,09
10	0	0,02	0,08	0,09
20	0,08	0,02	0,07	0,09
25	0,08	0,02	0,06	0,08
30	0,09	0,02	0,05	0,08
35	0,08	0,02	0,05	0,07
40	0,09	0,02	0,06	0,07
45	0,08	0,02	0,06	0,06
50	0,08	0,02	0,05	0,06
55	0,07	0,02	0,05	0,06
60	0,07	0,02	0,05	0,06

Tabel 6. Hasil uji kemampuan SSPT dalam menghasilkan arus listrik

Waktu (menit)	Pengamatan (hari ke-)							
	1	2	3	4	5	6	9	10
0	0,01	0,02	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0
60	0,07	0,02	0,05	0,06	0,06	0,05	0,01	0

**Gambar 2.** Arus Listrik yang Dihasilkan Oleh SSPT Selama 10 Hari

SSPT menghasilkan arus listrik yang memiliki kecenderungan menurun selama proses penyinaran. Meskipun terjadi peningkatan arus listrik pada hari ke-3, selanjutnya SSPT menghasilkan arus listrik yang terus menurun hingga akhirnya pada hari ke-10 tidak terdapat lagi arus yang dihasilkan. Titik tertinggi arus listrik yang dihasilkan oleh SSPT terjadi pada hari ke-3 yaitu sebesar 0,12 ampere, dan pada setiap pengamatan penyinaran menit ke-0 SSPT menghasilkan arus yang lebih tinggi dibandingkan pada menit ke-60. Hal ini disebabkan oleh jumlah elektron yang terdapat pada SSPT berkurang selama penyinaran. Namun energi yang terdapat pada elektron semakin meningkat, sehingga semakin tinggi tegangan listrik yang dihasilkan oleh SSPT, maka arus listrik yang mengalir dalam SSPT akan semakin kecil. Selama penelitian, arus listrik yang dihasilkan oleh SSPT tidak menurun secara drastis, dan

penurunan lebih lambat dibandingkan dengan peningkatan arus listrik yang dihasilkan oleh SSPT. Peningkatan tegangan terjadi dalam waktu 3 hari. Namun penurunan arus listrik yang dihasilkan oleh SSPT terjadi selama 5 hari. Apabila dilihat berdasarkan pengamatan per-hari, terjadi penurunan arus listrik selama proses penyinaran. Arus listrik pada menit ke-0 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan menit ke-60. Kinerja sel surya peka terhadap *dye* terutama didasarkan pada pewarna sebagai sensitizer. Pewarna alamin telah menjadi alternatif yang layak untuk sensitizers organik karena harganya yang murah, mudah terjangkau, pasokan bahan baku melimpah dan tidak ada ancaman lingkungan. Berbagai komponen tanaman seperti kelopak bunga, daun dan kulit telah diuji sebagai sensitizer. Sifat pigmen bersama dengan parameter lain telah menghasilkan berbagai kinerja dalam SSPT (Narayan, 2011).

Peningkatan arus listrik diperoleh karena komponen-komponen dalam SSPT yang dapat bekerja dengan baik. TiO_2 pada kaca anoda, *dye* antosianin, elektrolit dan kaca katoda berjalan sesuai fungsinya seperti pada metode SSPT. SSPT mampu menghasilkan arus listrik dengan baik apabila komponen-komponen dapat bekerja dengan baik pula. Pada saat SSPT tidak terkena sinar matahari langsung, SSPT mampu menghasilkan arus listrik yang lebih tinggi apabila diberi cahaya. Pada saat intensitas cahaya menurun, energi pada elektron akan berkurang dan jumlah elektron yang mengalir akan meningkat. Sehingga pada saat terjadi penurunan tegangan yang dihasilkan oleh SSPT, dapat disebabkan oleh kualitas dari komponen yang terus menurun. Lapisan tipis TiO_2 disensitisasi oleh pewarna alami merah dan biru. Puncak penyerapan warna merah disekitar 545 nm sedangkan warna biru ada di sekitar 576 nm dan 622 nm. Pewarna tersensitisasi TiO_2 berdasarkan sel surya peka menggunakan warna merah (Gokilamani *et al.*, 2013).

Menurut Li *et al.* (2006) menurunnya kualitas komponen yang lain juga dapat memengaruhi kemampuan SSPT dalam menghasilkan arus listrik. Jumlah elektron per detik yang mengalir melalui bahan merupakan arus listrik. Penurunan arus listrik disebabkan oleh penguapan elektrolit yang terjadi. Menurut Hikmah & Prajitno (2015), SSPT hanya mampu bertahan dalam waktu 5 jam dari pemakaian awal untuk satu kali penetesan elektrolit. Karena elektrolit dalam bentuk cair memiliki penguapan yang lebih cepat. Penguapan yang terjadi mengakibatkan banyak iodine yang hilang dari SSPT, dan hal ini juga yang menyebabkan arus listrik yang dihasilkan tidak stabil.

Penurunan kemampuan SSPT dalam menghasilkan tegangan dan arus dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya karena proses oksidasi. Siregar & Nurlala (2012) menyatakan bahwa energi dari matahari dinamakan insolasi, dan terdiri dari radiasi berbagai sinar dengan bermacam-macam panjang gelombang. Sinar dengan panjang gelombang pendek akan mengakibatkan dampak fitokimia dan mempercepat proses oksidasi. Oksidasi terjadi pada komponen *dye* dan elektrolit pada SSPT. Kelemahan penggunaan *dye* dan elektrolit dalam bentuk cair memiliki tingkat oksidasi yang lebih cepat dibandingkan dalam bentuk *gel* atau padatan.

Penurunan kemampuan SSPT dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik juga

dapat diketahui dari warna *dye* yang memudar. Penurunan stabilitas warna akibat pengaruh suhu dimungkinkan terjadinya dekomposisi senyawa antosianin yang semula didominasi senyawa aglikon berubah menjadi kalkon (Wijaya, 2001). Hal ini diperkuat oleh penelitian Winarti & Firdaus (2010), bahwa suhu dan lama pemanasan mengakibatkan dekomposisi dan perubahan struktur kimia antosianin, sehingga terjadi pemucatan. Berdasarkan penelitian, peningkatan suhu sangat berpengaruh terhadap arus listrik yang dihasilkan. Dimana arus listrik terjadi penurunan pada saat proses penyinaran, namun akan meningkat apabila tidak dilakukan penyinaran atau terjadi penurunan suhu pada SSPT.

Sel surya adalah *device* yang memiliki dua terminal sambungan. Pada saat kondisi tanpa cahaya, maka fungsinya seperti dioda, dan apabila ada cahaya (seperti matahari) maka tegangan akan dihasilkan. Pada saat terkena sinar matahari, solar sel komersial akan menghasilkan tegangan *DC* sebesar 0,5 sampai 1 volt per sel dengan arus *short-circuit* dengan skala satuan milliampere per cm^2 dan disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya terdiri dari 28-36 solar sel yang tersusun secara seri, sehingga menghasilkan tegangan *DC* sebesar 12 volt apabila kondisi penyinaran standar (*Air Mass* 1.5). Beberapa modul surya kemudian digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus *output*-nya sesuai daya yang diinginkan. Pewarna alami sebagai sensitizer untuk SSPT (DSSCs) cukup menjanjikan. Hal ini disebabkan sifatnya yang ramah lingkungan, produksi murah dan ketersediaan luas. Meski efisiensi SSPT pewarna alami di bawah persyaratan untuk produksi skala besar, hasilnya sangat diharapkan dan dapat ditingkatkan dengan penelitian yang berorientasi pada pencarian sensitizer alami baru dan optimalisasi komponen sel surya yang kompatibel dengan pewarna alami. Efisiensi tertinggi 1,70% telah dicapai oleh *Red Turnip* yang mengandung pigmen betalain. Namun, masih ada ruang untuk pengembangan lebih lanjut untuk komersialisasi teknologi ini (Narayan, 2011).

Antosianin terbukti dapat digunakan sebagai *dye* pada SSPT. *Dye* memiliki fungsi sebagai penerima foton dan mengubahnya menjadi elektron hingga akhirnya menghasilkan tegangan listrik dan arus listrik. SSPT masih dapat dikembangkan lebih jauh lagi untuk menemukan kemampuan terbaik. *Prototype* SSPT ukur-

an 2 x 2 cm atau 4 cm² mampu menghasilkan tegangan sebesar 0,25 volt dan arus sebesar 0,12 ampere. SSPT memiliki kemampuan dalam menghasilkan listrik selama 15 hari. Penggunaan antosianin sebagai *dye* pada komponen SSPT membutuhkan sebanyak 5 ml untuk membuat 1 perangkat SSPT ukuran 4 cm². Dalam 100 gram ubi jalar ungu kering dapat menghasilkan antosianin sebanyak 224,97 mg yang terkandung dalam 25 ml ekstrak cair. Apabila dikonversi dalam kilogram, dalam 1 kg ubi jalar ungu kering akan didapatkan ekstrak cair sebanyak 250 ml. Sehingga dengan 1 kg ubi jalar ungu kering dapat membuat SSPT dengan luas sebesar 200 cm² (dapat disusun dengan 50 SSPT ukuran 4 cm²). Luas SSPT sebesar 200 cm² diperkirakan dapat menghasilkan tegangan listrik tertinggi sebesar 12,5 volt dan arus listrik tertinggi sebesar 6 ampere.

Dengan hasil tersebut, SSPT dapat dikatakan memiliki kemampuan menghasilkan listrik yang mendekati solar sel komersial. Hal ini memiliki potensi untuk menciptakan panel surya yang lebih ramah lingkungan sebagai penghasil listrik serta dapat menggantikan penghasil listrik yang tidak dapat diperbarui seperti batu bara. SSPT juga diharapkan memiliki biaya yang lebih terjangkau bagi masyarakat, sehingga setiap rumah dapat memproduksi listrik secara mandiri. Namun, SSPT memiliki perawatan yang lebih banyak dibandingkan dengan penghasil listrik yang lain karena kemampuannya dalam hal daya tahan masih rendah. Pengaruh suhu tinggi dari sinar matahari membuat laju oksidasi lebih cepat, yang memengaruhi penurunan kemampuan dari SSPT dalam menghasilkan tegangan dan arus. Meski begitu, potensi untuk menyempurnakan SSPT dapat terus dilakukan untuk memperbaiki kelemahan yang masih ditemui.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, perlakuan terbaik dalam memperoleh ekstrak antosianin ubi jalar ungu tertinggi pada pelarut dengan pH 4,00. Hasil yang diperoleh yaitu absorbansi sebesar 0,0485±0,20 atau kandungan antosianin didapatkan sebesar 224,97±0,02 mg/100 gram. Antosianin ubi jalar ungu memiliki panjang gelombang spektrum warna berada pada kisaran 520-700 nm. Sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT) mampu menghasilkan tegangan listrik selama 15 hari dan arus listrik selama 10 hari. Tegangan listrik tertinggi diper-

oleh sebesar 0,25 volt pada hari keempat menit ke-60. Arus listrik tertinggi diperoleh sebesar 0,12 ampere pada hari ketiga menit ke-0.

Daftar Pustaka

- Agustin, D., & Ismiyati, I. (2015). Pengaruh konsentrasi pelarut pada proses ekstraksi antosianin dari bunga kembang sepatu. *Jurnal Konversi*, 4(2), 9. <https://doi.org/10.24853/konversi.4.2.9-16>
- Ahliha, A. H., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Kusumaningsih, T. (2017). The chemical bonds effect of anthocyanin and chlorophyll dyes on TiO₂ for dye-sensitized solar cell (DSSC). *Journal of Physics: Conference Series*, 909, 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012013>
- Bridgers, E. N., Chinn, M. S., & Truong, V.-D. (2010). Extraction of anthocyanins from industrial purple-fleshed sweetpotatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 613–620. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.07.020>
- Calogero, G., Di Marco, G., Caramori, S., Cazzanti, S., Argazzi, R., & Bignozzi, C. A. (2009). Natural dye sensitzers for photoelectrochemical cells. *Energy & Environmental Science*, 2(11), 1162. <https://doi.org/10.1039/b913248c>
- Farida, R., & Nisa, F. C. (2015). Ekstraksi antosianin limbah kulit manggis metode microwave assisted extraction (lama ekstraksi dan rasio bahan pelarut). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(2), 363–373.
- Francis, F. J. (1982). *Analysis of Anthocyanins*. New York: Academic Press.
- Ginting, E., Utomo, J. S., Yulifianti, R., & Jusuf, M. (2011). Potensi ubi jalar ungu sebagai pangan fungsional. *IPTEK Tanaman Pangan*, 6(1), 116–138.
- Gokilamani, N., Muthukumarasamy, N., Thambidurai, M., Ranjitha, A., & Velauthapillai, D. (2013). Utilization of natural anthocyanin pigments as photosensitizers for dye-sensitized solar cells. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 66(2), 212–219. <https://doi.org/10.1007/s10971-013-2994-9>
- Grätzel, M. (2005). Photovoltaic performance and long-term stability of dye-sensitized meosocopic solar cells. *Comptes Rendus Chimie*, 9(5–6), 578–583. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.06.037>

- Hambali, M., Mayasari, F., & Noermansyah, F. (2014). Ekstraksi antosianin dari ubi jalar dengan variasi konsentrasi solven, dan lama waktu ekstraksi. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*, 20(2), 25–35.
- Hikmah, I., & Prajitno, G. (2015). Pengaruh penggunaan gel-electrolyte pada prototipe dye sensitized solar cell (DSSC) berbasis TiO₂ nanopartikel dengan ekstrak murbei (Morus) sebagai dye sensitized pada substrat kaca ITO. *Jurnal Sains Dan Seni*, 4(1), 5–10.
- Kumalaningsih, S. (2007). *Antioksidan Alami: Penangkal Radikal Bebas*. Surabaya: Trubus Agrisarana.
- Kurniawan, N., Sugianto, & Salomo. (2016). Aplikasi ekstraksi antosianin ubi jalar ungu dengan variasi pH pelarut sebagai sel surya pewarna tersensitisasi. *Jurnal Sains & Matematika UNRI*, 4(2), 1–6.
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., & Qiu, Y. (2006). Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(5), 549–573. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.04.039>
- Maulida, R., & Guntarti, A. (2015). Pengaruh ukuran partikel beras hitam (*Oryza sativa* L.) terhadap rendemen ekstrak dan kandungan total antosianin. *Pharmaciana*, 5(1), 9–16. <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v5i1.2281>
- Narayan, M. R. (2011). Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.148>
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353(6346), 737–740. <https://doi.org/10.1038/353737a0>
- Prima, E. C., Yulianto, B., Suyatman, & Dipojono, H. K. (2017). Donor-Modified Anthocyanin Dye-Sensitized Solar Cell with TiO₂ Nanoparticles: Density Functional Theory Investigation. *Materials Science Forum*, 889, 178–183. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.889.178>
- Robinson, T. (1995). *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Shalini, S., Balasundaraprabhu, R., Kumar, T. S., Prabavathy, N., Senthilarasu, S., & Prasanna, S. (2016). Status and outlook of sensitizers/dyes used in dye sensitized solar cells (DSSC): a review. *International Journal of Energy Research*, 40(10), 1303–1320. <https://doi.org/10.1002/er.3538>
- Siregar, Y. D. I., & Nurlela, N. (2012). Ekstraksi dan uji stabilitas zat warna alami dari bunga kembang sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis* L) dan bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa* L). *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(3), 459–467. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i3.117>
- Subodro, R., Kristiawan, B., Ramelan, A. H., Wahyuningsih, S., Munawaroh, H., Hanif, Q. A., & Saputri, L. N. M. Z. (2017). Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) reengineering using TiO₂ with natural dye (anthocyanin). In *International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016)* (p. 030104). American Institute of Physics. <https://doi.org/10.1063/1.4968357>
- Sun, C., Li, Y., Song, P., & Ma, F. (2016). An experimental and theoretical investigation of the electronic structures and photoelectrical properties of ethyl red and carminic acid for DSSC application. *Materials*, 9(10), 813. <https://doi.org/10.3390/ma9100813>
- Suzery, M., Lestari, S., & Cahyono, B. (2010). Penentuan total antosianin dari kelopak bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) dengan metode maserasi dan sokhletasi. *MIPA*, 18(1), 1–6.
- Voigt, R. (1995). *Buku Pelajaran Teknologi Farmasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wijaya, M. (2001). *Dasar-dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan.
- Winarti, S., & Firdaus, A. (2010). Stabilitas warna merah ekstrak bunga rosella untuk pewarna makanan dan minuman. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(2), 87–93.